

Análise temporal do uso e cobertura do solo e da qualidade da água da Bacia Hidrográfica do rio Tibagi

Temporal analysis of land use/land cover and water quality of the Tibagi River watershed



- **Data de entrada:**
17/01/2018
- **Data de aprovação:**
26/07/2018

Emily Giany Assunção^{1*} | Paulo Henrique Marques de Castro² |
Adriana Castreghini de Freitas Pereira³ | Emília Kiyomi Kuroda¹

DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2020.020>

ORCID ID

Assunção, E. G.  <https://orcid.org/0000-0002-2631-023X>
Castro, P.H.M.  <https://orcid.org/0000-0002-2623-867X>

Pereira, A. C. F. P.  <https://orcid.org/0000-0002-7097-8579>
Kuroda, E. K.  <https://orcid.org/0000-0001-8678-5619>

Resumo

O desenvolvimento de atividades antrópicas está intimamente relacionado ao uso e cobertura da bacia hidrográfica e impacta diretamente nos aspectos quali-quantitativos da água. Considerando a intervenção ocorrida em 2012 na Bacia Hidrográfica do rio Tibagi - BHT, com a instalação da Usina Hidrelétrica - UHE Mauá, este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade da água e as alterações no uso e cobertura do solo da BHT para os anos de 2006, 2011 e 2016. Para a avaliação da qualidade da água do rio Tibagi, foram obtidos dados de estações fluviométricas, localizadas na BHT. Para classificação do uso e cobertura do solo foi utilizado o programa ArcGIS e imagens do satélite LANDSAT 5 e 8. Em geral, a qualidade da água pelo Índice de Qualidade da Água - IQA foi classificada como boa e os mapas de uso e cobertura apresentaram aumento da classe urbana e redução da classe vegetação rasteira.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto. Imagens de satélite. Índice de qualidade da água - IQA.

Abstract

The development of anthropic activities is closely related to land use/land cover of the watershed and it directly impacts the qualitative and quantitative aspects of water. Considering the intervention occurred in 2012 in the Tibagi River Watershed – BHT to build the Maua Hydroelectric Power Plant – UHE, this work had the objective to evaluate the water quality and the changes in land use/land cover of BHT in 2006, 2011 and 2016. The evaluation of the water quality was performed using water quality data from fluviometric monitoring stations located of BHT. For the classification of land use/land cover, ArcGIS software and images of LANDSAT 5 and 8 were used. In general, the water quality was classified by the water quality index -WQI as good, in the maps of land use/land cover elaborated, an increase of the urban class and the reduction of the undergrowth class were verified.

Keywords: Remote sensing. Satellite images. Water quality index – WQI.

¹ UEL – Universidade Estadual de Londrina - Departamento de Construção Civil do Centro de Tecnologia e Urbanismo. Londrina - PR - Brasil
² UENP - Universidade Estadual do Norte do Paraná - Departamento de Geografia do Centro de Ciências Humanas e da Educação. Campus Cornélio Procopio - PR - Brasil.

³ UEL - Universidade Estadual de Londrina - Departamento de Geociências do Centro de Ciências Exatas. Londrina - PR - Brasil.

* **Autor correspondente:** emily.ega@hotmail.com.

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento urbano aliado ao aumento da densidade demográfica tem causado problemas de demanda de água sob os aspectos qualitativo e quantitativo, exigindo investimentos cada vez mais significativos aos sistemas de abastecimento.

A Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelecida na Lei N° 9.433, prevê como diretriz de ação “a articulação da gestão de recursos hídricos com a do uso do solo” (BRASIL, 1997). Essa diretriz é fundamentada no fato de que o homem transforma os espaços da bacia por meio de desmatamentos, da implantação de pastagens e cultivos, da construção de obras civis, do represamento e da canalização de cursos d'água, da implantação de indústrias e áreas urbanas, gerando grande quantidade de rejeitos, cujo destino final frequentemente é o ambiente aquático.

Assim, a qualidade da água está diretamente relacionada ao uso que se faz do ambiente. No caso do meio hídrico, a poluição das águas pode ser conceituada como a ocorrência de fenômenos que resultam na adição de substâncias ou de formas de energia que direta ou indiretamente alteram suas características e que inviabilizam seu uso para fins específicos (SPERLING, 2014).

As imagens obtidas por satélite de sensoriamento remoto vêm sendo utilizadas de forma crescente para aquisição de dados, monitoramento das mudanças da superfície terrestre, estudos ambientais, agrícolas, cartográficos, urbanos, entre outros. As técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento possibilitam identificar áreas de risco ou áreas que já foram intensamente degradadas, bem como distinguir variações ocorridas devido às modificações naturais da paisagem e as provocadas pelo homem, e por isso são consideradas ferramentas estratégicas potenciais para o monitoramento ambiental em escalas locais e globais, devido à rapidez, eficiência, periodicidade e abrangência (CRÓSTA, 1992; FLORENZANO, 2002; NOVO, 2010).

Considerando a intervenção ocorrida em 2012 na Bacia Hidrográfica do rio Tibagi - BHT, com o represamento do rio entre os municípios de Telêmaco Borba e Ortigueira para a instalação da Usina Hidrelétrica Mauá - UHE Mauá - e sua relevância, uma vez que abrange uma área correspondente a 13% do território do estado e abastece 49 municípios do Paraná, faz-se necessária a realização de estudos e investigações a fim de estabelecer ferramentas de monitoramento, gestão e controle do uso e cobertura do solo e sua influência na qualidade dos corpos hídricos.

2 OBJETIVO

Este estudo teve como objetivo realizar o diagnóstico temporal do uso e cobertura do solo com imagens de sensoriamento remoto e da qualidade da água utilizando dados de séries históricas antes (anos de 2006 e 2011) e após (ano de 2016) a intervenção ocorrida em 2012 na Bacia Hidrográfica do rio Tibagi – BHT.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

A Bacia Hidrográfica do rio Tibagi - BHT está situada no nordeste do estado do Paraná (Fig. 1), entre os paralelos de 22° 30' e 25° 30' S e 49° 30' e 51° 30' W. O rio Tibagi nasce na Serra de Furnas, entre os municípios de Ponta Grossa e Palmeiras, e deságua no reservatório da Usina Hidrelétrica de Capivara no Rio Paranapanema, com uma extensão média de 320 km e largura de 78 km. Limita-se ao sul com a bacia do rio Iguaçu, a leste com as bacias dos rios Cinzas e Itararé, a sudeste com a bacia do rio Ribeira, a oeste com a bacia do rio Ivaí, a noroeste com a bacia do rio Pirapó e ao norte com as bacias denominadas Paranapanema II e Paranapanema III (SEMA, 2013).

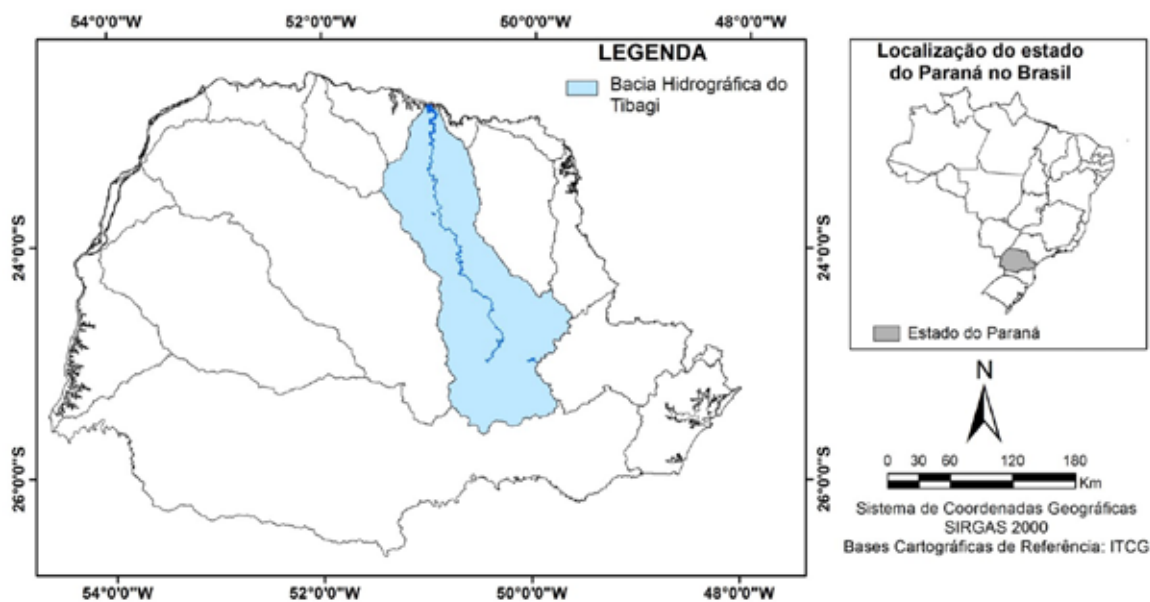


Figura 1 - Localização da Bacia Hidrográfica do rio Tibagi – BHT

FONTE: Os autores

A BHT está dividida em duas Unidades Hidrográficas de Gestão de Recursos Hídricos: Alto Tibagi e Baixo Tibagi. A BHT possui uma área aproximada de 25.000 km², correspondente a cerca de 13% do território do estado do Paraná. A área da bacia abrange 49 municípios do estado e uma população de 2,1 milhões de habitantes em 2016. Entre as principais cidades da BHT destacam-se Londrina, Ponta Grossa, Apucarana, Arapongas e Cambé, que juntas correspondem a 60% da população da BHT. (MEDRI et al., 2002; IBGE 2016). A principal atividade econômica da BHT é a agropecuária, sendo ainda relativamente industrializada e ocupada por uma das maiores indústrias de celulose do país, localizada no município de Telêmaco Borba.

A disponibilidade hídrica dos corpos superficiais da BHT é de cerca de 111 000 L s⁻¹. O valor demandado dos corpos superficiais é de aproximadamente 8 mil L s⁻¹, representando apenas 7% do total disponível em corpos superficiais na bacia (SEMA, 2013).

Em 2008 foi iniciada a construção da Usina Hidrelétrica Mauá - UHE Mauá no Rio Tibagi, entre Telêmaco Borba e Ortigueira, sendo inaugurada em 2012. O represamento da usina alterou significativamente a hidrografia da região, gerando o alagamento de uma área de quase dez mil hectares. Destes, 8010 ha eram propriedades rurais e 40 ha de área urbana (CNEC, 2004).

A UHE Mauá é uma usina de médio porte com capacidade de 363 MW, suficiente para atender ao consumo de aproximadamente um milhão de pessoas. A usina é controlada pelo Consórcio Energético Cruzeiro do Sul - CECS, com participação societária de 51% da Copel e 49% da Eletronsul (CECS, 2016).

3.2 Elaboração do mapa de uso e cobertura do solo

Para a elaboração dos mapas de uso e cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do rio Tibagi - BHT foram utilizadas imagens de sensores multiespectrais referentes aos últimos dez anos, dispo-

nibilizadas no banco de dados do Catálogo de Imagens da Divisão de Geração de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - DGI-INPE e do Earth Explorer da United States Geological Survey – USGS.

Foram utilizadas imagens da série LANDSAT selecionadas preferencialmente para o mesmo período do ano e que apresentassem a mínima presença de nuvens possível, para os anos de

2006, 2011 e 2016. A Tabela 1 relaciona as datas das imagens selecionadas, os satélites imageadores e as respectivas bandas multiespectrais utilizadas para a composição colorida utilizando as bandas B5 - R, B4 - G e B3 - B do LANDSAT 5 de sensor Thematic Mapper - TM e B6 - R, B5 - G e B4 - B do LANDSAT 8 de sensor Operational Land Imager - OLI. Os mapas foram elaborados utilizando o software ArcGIS para visualização, gestão, criação e análise de dados geográficos.

Tabela 1 - Imagens de satélite selecionadas para elaboração do mapa de uso e cobertura do solo






Data	Satélite	Sensor	Ponto/órbita	Bandas
12/09/2006	LANDSAT 5	Thematic Mapper - TM	077 / 221	B3, B4, B5
12/09/2006	LANDSAT 5	Thematic Mapper - TM	078 / 221	B3, B4, B5
03/09/2006	LANDSAT 5	Thematic Mapper - TM	077 / 222	B3, B4, B5
03/09/2006	LANDSAT 5	Thematic Mapper - TM	076 / 222	B3, B4, B5
05/05/2011	LANDSAT 5	Thematic Mapper - TM	077 / 221	B3, B4, B5
05/05/2011	LANDSAT 5	Thematic Mapper - TM	078 / 221	B3, B4, B5
16/08/2011	LANDSAT 5	Thematic Mapper - TM	077 / 222	B3, B4, B5
16/08/2011	LANDSAT 5	Thematic Mapper - TM	076 / 222	B3, B4, B5
16/04/2016	LANDSAT 8	Operational Land Imager - OLI	077 / 221	B4, B5, B6
07/09/2016	LANDSAT 8	Operational Land Imager - OLI	078 / 221	B4, B5, B6
23/04/2016	LANDSAT 8	Operational Land Imager - OLI	077 / 222	B4, B5, B6
23/04/2016	LANDSAT 8	Operational Land Imager - OLI	076 / 222	B4, B5, B6

FONTE: Os autores

Para a classificação considerou-se o algoritmo classificador Máxima Verossimilhança - MAX-VER e levou-se em consideração características como textura (rugosidade), cor, tonalidade, forma, tamanho, localização e contexto, resultando em cinco classes temáticas de uso e cobertura do solo: área urbana, água, vegetação densa, vegetação rasteira e solo exposto, além de dados obtidos em trabalho de campo próximo ao Re-

servatório da Usina Hidrelétrica - UHE Mauá que contribuíram para o reconhecimento da área. Após concluída a classificação foi gerado um mapa de classes temáticas, a fim de viabilizar o diagnóstico e alterações do uso e cobertura da BHT ao longo do tempo. A Tabela 2 apresenta o modelo de chave de interpretação utilizada para realizar o mapeamento o uso e cobertura do solo da BHT.

Tabela 2 - Características das amostras utilizadas para o mapeamento da imagem do LANDSAT 5 (TM), Ponto 077, Órbita 221, Data 12/09/2006

Unidade de mapeamento	Padrões característicos de interpretação no terreno	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo numa composição colorida
Água	Área alagada, podendo apresentar vegetação aquática	Padrão de cor: azul Textura: lisa Forma: irregular	
Vegetação	Área constituída por espécies nativas ou floresta implementada apresentando todo tipo de vegetação arbórea	Padrão de cor: verde escuro Textura: rugosa Forma: irregular	
Vegetação Rasteira	Área formada por vegetação rasteira contendo algumas árvores de pequeno porte	Padrão de cor: verde claro Textura: levemente rugosa Forma: levemente irregular	
Solo Exposto	Área desprovida de revestimento vegetal	Padrão de cor: rosa claro Textura: lisa Forma: regular ou irregular	
Área urbana	Áreas construídas, seja por edificações de multipavimentos, lotes com construções residenciais, comerciais ou industriais	Padrão de cor: magenta Textura: rugosa Forma: irregular	

FONTE: Os autores

3.3 Coleta de dados para diagnóstico da qualidade da água do rio Tibagi

Para diagnóstico temporal da qualidade da água do Rio Tibagi foram obtidos dados de monitoramento junto ao Instituto das Águas do Paraná, à Agência Nacional das Águas – ANA e sites relacionados.

Foram selecionadas estações fluviométricas representadas na Fig. 2 e especificadas na Tabela 3, localizadas a montante, a jusante e próxima à área da UHE Mauá e que apresentassem dados de qualidade de água para os anos de 2006, 2011 e 2016, analisados preferencialmente pelo mesmo laboratório e suficientes para o cálculo do Índice de Qualidade da Água - IQA.

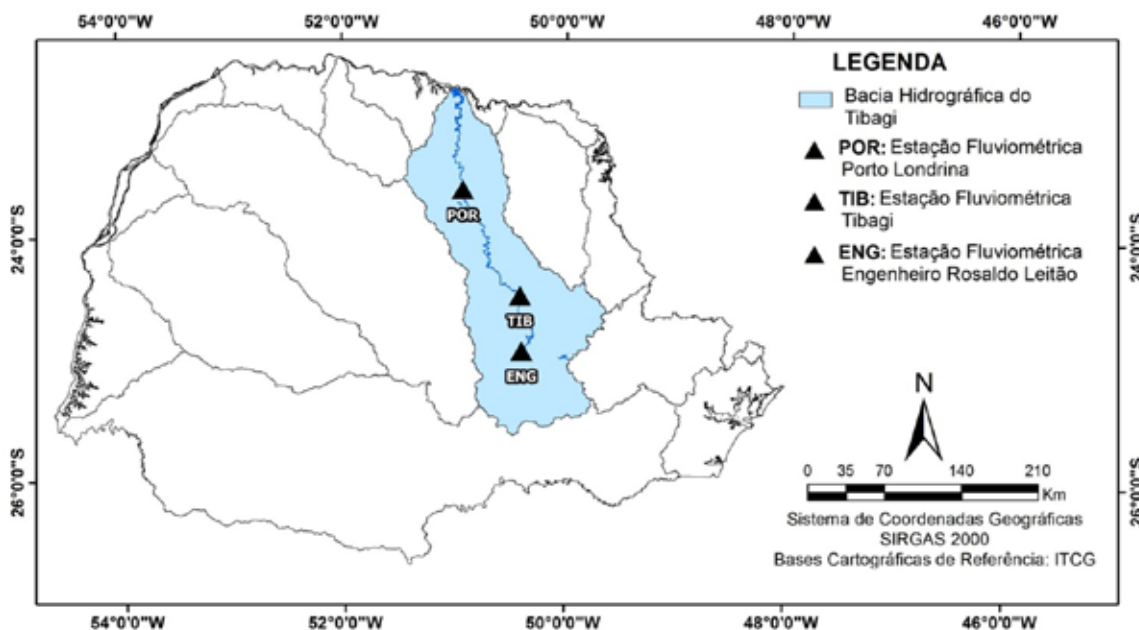


Figura 2 - Distribuição espacial das estações fluviométricas selecionadas

FONTE: Os autores

Tabela 3 - Estações fluviométricas selecionadas para o diagnóstico temporal da qualidade da água do Rio Tibagi.

Código	Nome	Sigla	Município	Estado	Latitude	Longitude	Altitude (m)
64447000	Engenheiro Rosaldo Leitão	ENG	Ponta Grossa	PR	24°57'55"	50°23'37"	780
64465000	Tibagi	TIB	Tibagi	PR	24°30'36"	50°24'36"	750
64501000	Porto Londrina	POR	São Jerônimo da Serra	PR	23°38'14"	50°55'23"	400

FONTE: Os autores

3.4 Índice de Qualidade da Água – IQA

O cálculo do IQA foi realizado de acordo com método proposto pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (Cetesb) do estado de São Paulo, adaptado do IQA desenvolvido pela National Sanitation Foundation - NSF dos Estados Unidos da América (CETESB, 2017). O IQA foi calculado pelo produtório ponderado dos fatores de qualidade das variáveis que integram o índice, de acordo com a Eq. 1:

$$IQA = \prod_{i=1}^N q_i^{w_i} \quad (1)$$

em que:

IQA = índice de qualidade da água, com valor variando entre 0 e 100;

N = número de parâmetros;

qi = qualidade do i-ésimo parâmetro, com valor variando entre 0 e 100, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade”, em função de sua concentração ou medida;

wi = peso correspondente ao i-ésimo parâmetro, com valor variando entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade.

Os pesos correspondentes a cada parâmetro são apresentados na Tabela 4 e as faixas de classificação de qualidade na Tabela 5, de acordo com o método proposto pela CETESB (CETESB, 2017).

Tabela 4 – Pesos atribuídos a cada parâmetro de cálculo do IQA.

Parâmetro	Peso (w)
Coliformes termotolerantes	0,15
pH	0,12
DBO5,20	0,10
Nitrogênio total	0,10
Fósforo total	0,10
Diferença de temperatura	0,10
Turbidez	0,08
Sólidos totais	0,08
Oxigênio dissolvido	0,07

pH: potencial hidrogeniônico;

DBO: demanda bioquímica de oxigênio;

FONTE: CETESB (2017), adaptado

Tabela 5 - Faixa de classificação do IQA

Categoria	Faixa de IQA
Ótima	80 – 100
Boa	52 – 79
Regular	37 – 51
Ruim	20 – 36
Péssima	0 – 19

FONTE: CETESB (2017)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Diagnóstico temporal do uso e cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do rio Tibagi – BHT

As técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto utilizando imagens dos satélites LANDSAT 5 e 8 permitiram a elaboração dos mapas para classificação do uso e cobertura do solo para os anos de 2006, 2011 e 2016.

A limitação da resolução espacial impossibilitou a abrangência de outras classes de uso e cobertura do solo neste estudo, tendo sido priorizadas as classes de maior importância e fácil distinção. Assim, não foi possível ser empregada a classificação da vegetação rasteira separadamente da classe de agricultura, pois a precisão não era suficiente para classificar com confiabilidade pixels específicos, causando conflito entre as classes.

A partir dos mapas de uso e cobertura do solo gerados foi possível analisar a evolução do uso do solo e quantificar as áreas ocupadas por cada classe temática ao longo do tempo. As Fig. 3(a), 3(b) e 4 apresentam os mapas de uso e cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do rio Tibagi - BHT para os anos de 2006, 2011 e 2016, respectivamente.

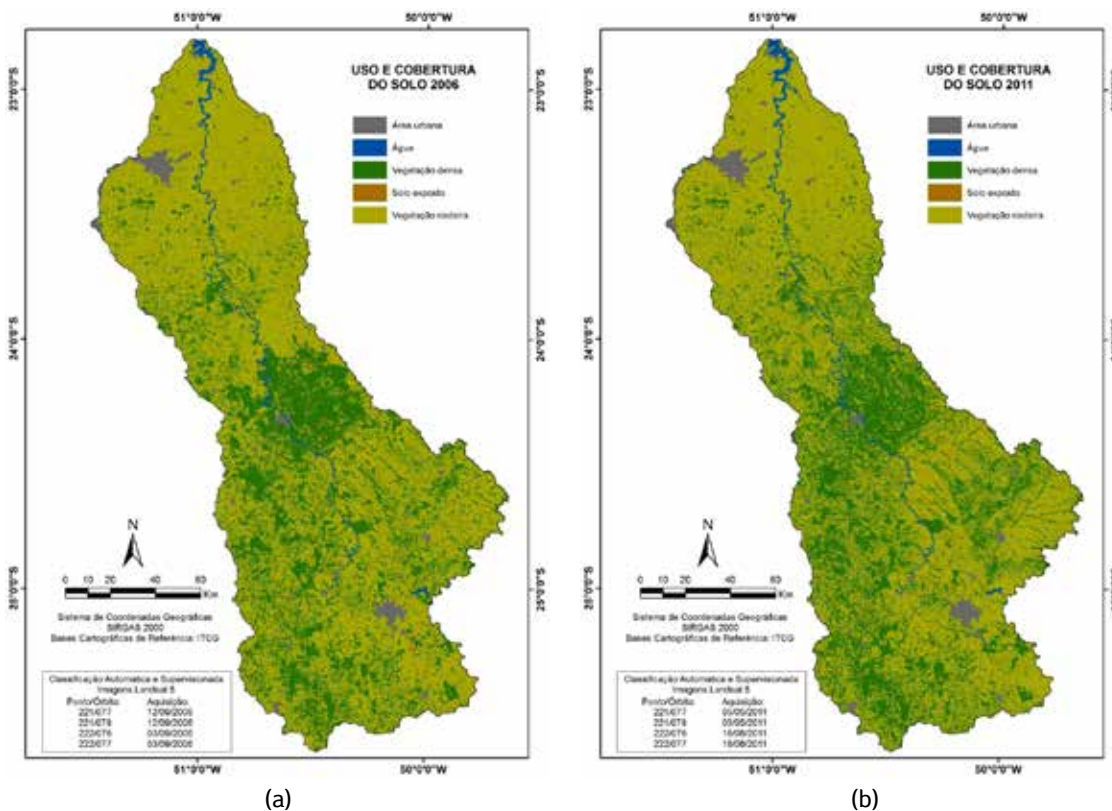


Figura 3 - Mapa de uso e cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do rio Tibagi - BHT em 2006 e 2011
 FONTE: Os autores

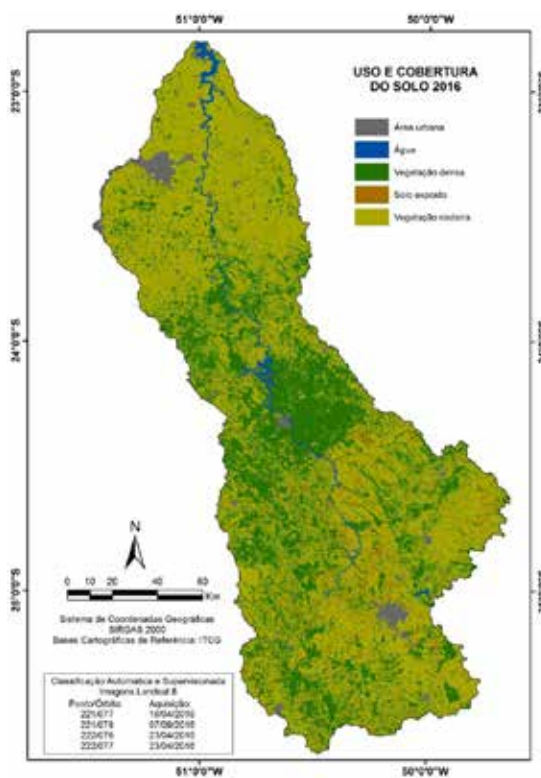


Figura 4 - Mapa de uso e cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do rio Tibagi - BHT em 2016

FONTE: Os autores

A Tabela 6 apresenta as áreas, e a Fig. 5, os percentuais correspondentes às classes temáticas de uso e cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do rio Tibagi - BHT para os anos de 2006, 2011 e 2016.

Tabela 6 - Áreas correspondentes a cada classe temática de uso e cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do rio Tibagi - BHT para os anos de 2006, 2011 e 2016

Classes	Área de uso e cobertura da BHT (km ²)		
	2006	2011	2016
Área urbana	386,77	396,45	417,79
Água	163,76	176,80	234,95
Vegetação densa	7428,54	8016,15	8007,70
Solo exposto	336,81	298,92	870,99
Vegetação rasteira	16610,02	16037,58	15394,48

FONTE: Os autores

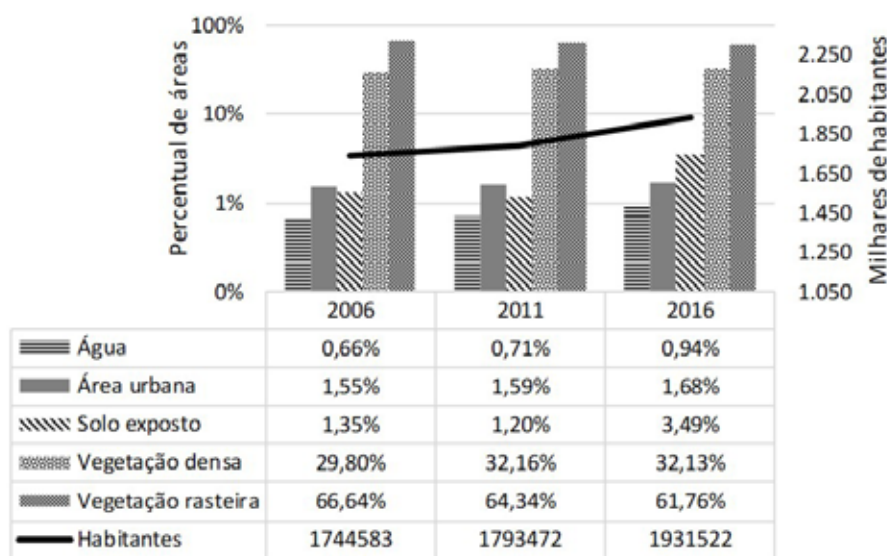


Figura 5 – Áreas de uso e cobertura e crescimento populacional da BHT

FONTE: Os autores

Analisando os mapas de uso e cobertura da BHT na série temporal abordada neste estudo, verificou-se um aumento gradativo das áreas urbanas, em especial das regiões metropolitanas de Londrina (23°18' S; 51°10' O) e Ponta Grossa (25°06' S; 50°09' O). Na Fig. 5 observa-se que a área urbana apresentou crescimento entre os anos analisados, representando 1,55% da área total em 2006; 1,59% em 2011 e 1,68% em 2016. Tal fato corrobora o crescimento populacional publicado pelo IBGE (2016) conforme apresentado na Fig.

5, demonstrando que o aumento da área urbana ocorreu simultaneamente ao crescimento populacional das cidades.

Comparando os mapas pode-se ainda observar que entre os anos de 2011 e 2016 houve aumento da área de água, de aproximadamente 58 km², cerca de 0,23% da área total da bacia (Fig. 5), provavelmente devido à implantação da Usina Hidrelétrica - UHE Mauá na região de Telêmaco Borba (24°19' S; 50°37' O), uma vez que

a área correspondente ao reservatório da Usina Hidrelétrica - UHE Mauá é da ordem de 0,34%.

A vegetação rasteira, que inclui pastagens, agricultura e campos gerais, foi a mais abrangente nos anos analisados, o que era esperado, uma vez que a agropecuária é a principal atividade econômica desenvolvida na BHT (SEMA, 2013). No entanto, durante os anos analisados percebe-se que a área da vegetação rasteira apresentou percentual decrescente, com redução em 2016 de 4,88% da sua área dando espaço à vegetação densa, possivelmente proveniente do reflorestamento e devido ao crescimento urbano. Tal redução da área agrícola e de pastagem em contraposição ao crescimento populacional também foi constatado por Barros et al. (2013).

As porcentagens referentes à classe de solo exposto variaram entre 1,20% a 3,49%, concentrada nos mapas, principalmente na região de mudança de planalto e entre vegetações rasteiras, podendo corresponder a um período temporário sem vegetação em processo de rotatividade de culturas ou colheita.

A vegetação densa teve um pequeno aumento de 2,33% nos anos analisados, com área em 2016 de 8007,70 km², sendo a maior concentração de áreas de vegetação densa localizada na região de Telêmaco Borba e Ortigueira (24°12' S; 50°55' O), próximo ao centro da BHT, região onde se encontra uma das maiores indústrias de celulose do país (SEMA, 2013). No estudo realizado por Ferreira (2009) na BHT também foi constatado um decréscimo da área de vegetação rasteira, passando de 71,2% em 1987 para 64,6% em 2007 e um aumento de 3,1% entre 1997 e 2007 da classe de vegetação densa.

Conforme mapeamento do uso e cobertura do solo da área em questão, as possíveis influências na qualidade da água devem corresponder às atividades antrópicas associadas predominantemente às classes de vegetação rasteira (de

66,64% em 2006 e 61,76% em 2016) devido a atividades agropecuárias e de reflorestamento (de 29,8% em 2006 e 32,13% em 2016), atividades consideradas como suporte da economia da BHT no período (CNEC, 2014).

4.2 Diagnóstico temporal da qualidade da água do rio Tibagi

Os valores dos parâmetros de qualidade para determinação do IQA das águas das três estações fluviométricas (ENG, TIB e POR) para os anos de 2006, 2011, 2016 são apresentados na Tabela 7.

Pode-se observar que os valores de fósforo total (EF-ENG em 2006 e na EF-TIB em 2011) e as concentrações de coliformes fecais (EF-ENG e EF-TIB em 2006 e EF-POR 2006 e 2011) apresentaram-se superiores aos limites de enquadramento de 0,1 mg L⁻¹ e 1000 NMP 100 mL⁻¹, respectivamente, para águas doces de classe 2 (classe de enquadramento do rio Tibagi) estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005). Características similares foram obtidas por Zimmerman et al. (2008), com elevados valores de coliformes fecais em 2005 e 2006 no rio Tibagi. De acordo com Gonçalves et al. (2005) e Vanzela et al. (2009), a contaminação microbiológica aumenta com a aproximação das áreas urbanizadas.

Embora o enriquecimento da água com fósforo não traga problemas diretos à saúde, pode causar o desequilíbrio dos sistemas aquáticos, devido ao processo de eutrofização, e favorecer a ocorrência de florações de algas e cianobactérias com graves consequências à saúde pública em mananciais destinados ao abastecimento (ESTEVES, 1998; FUNASA, 2003), como o rio Tibagi.

Além disso, observa-se que as concentrações de nitrogênio total têm sido incrementadas ao longo do trecho analisado e com o tempo, evidenciando que o rio vem sofrendo impactos, provavelmente provenientes de processos antro-

pogênicos associados às atividades dos setores agropecuário e industrial.

Considerando a intervenção ocorrida em 2012 na Bacia Hidrográfica do rio Tibagi - BHT, com o represamento do rio entre Telêmaco Borba e Ortigueira para a instalação da Usina Hidrelé-

trica Mauá - UHE Mauá, há necessidade de monitorar, controlar e investigar as causas e consequências associadas à poluição da BHT por esses nutrientes, a fim de garantir a preservação do ambiente aquático e minimizar os riscos à saúde pública.

Tabela 7 – Valores dos parâmetros para determinação do IQA para águas das três estações fluviométricas (ENG, TIB e POR) para os anos de 2006, 2011 e 2016

Ano	2006			2011			2016			
	Estação	EF-ENG	EF-TIB	EF-POR	EF-ENG	EF-TIB	EF-POR	EF-ENG	EF-TIB	EF-POR
Altitude (m)		780	750	400	780	750	400	780	750	400
pH		7,4	8,3	7,9	6,8	6,35	7,01	6,85	6,46	6,56
Temperatura (°C)		14	19	20	14	13	18	21	14	18
Sólidos totais (mg L ⁻¹)		41	77	28	78	30	111	58	47	62
Turbidez (N.T.U)		20,0	8,0	7,0	37,0	26,0	9,4	12,0	20,0	15,0
OD (mg L ⁻¹)		7,9	8,4	7,5	8,1	9,35	13,31*	9,4	7,33	9,05
Nitrogênio total (mg L ⁻¹)		0,21	0,26	0,64	0,29	0,46	0,58	0,98	1,38	1,56
Fósforo total (mg L ⁻¹)		0,130	0,052	0,033	0,051	0,120	0,039	0,043	0,061	0,052
DBO (mg L ⁻¹)		2,3	2,0	2,9	2,0	2,0	2,0	3,0	3,0	3,0
Coliformes fecais (NMP.100m L ⁻¹)		3000	14000	8000	110	330	2800	210	100	100
Índice de Qualidade da Água - IQA		63	61	62	73	70	68	74	72	75
Classificação do IQA		BOA	BOA	BOA	BOA	BOA	BOA	BOA	BOA	BOA

* Considerando a concentração de saturação de OD a 18 °C, para determinação do IQA foi adotada concentração de OD igual a 9,1 mg L⁻¹ para a amostra da EF-POR de 2011.

EF-ENG: Estação Fluviométrica Engenheiro Rosaldo Leitão

EF-TIB: Estação Fluviométrica Tibagi

EF-POR: Estação Fluviométrica Porto Londrina

FONTE: Os autores

De forma geral, o ano de 2006 não apresentou variação expressiva da qualidade da água nas três estações fluviométricas ao longo do rio, resultando em valores de IQA entre 61 a 63 com classificação boa, indicando que a qualidade da água do rio Tibagi apresentou-se praticamente homogênea no trecho estudado. Já nos anos de 2011 e 2016 houve uma melhora gradativa na qualidade da água, resultando em valores de IQA entre 68 a 75, porém mantendo sua classificação (boa).

Nas proximidades da estação fluviométrica Engenheiro Rosaldo Leitão EF-ENG observa-se que as classes predominantes foram de agricultura, vegetação rasteira e uma parcela de urbanização correspondente ao município de Ponta Grossa.

Na região próxima à estação fluviométrica Tibagi EF-TIB, a concentração urbana é bem menor e a agricultura divide o espaço com a vegetação densa. Já na região da estação fluviométrica Porto Londrina EF-POR encontra-se a maior área urbana (região metropolitana de Londrina) e a atividade preponderante é a agricultura.

Uma vez que a qualidade da água é reflexo dos efeitos de muitos processos ao longo do corpo hídrico, as alterações do uso e cobertura do solo influenciam diretamente a qualidade da água, sendo que os efeitos das atividades humanas, mesmo em pequena escala, podem ser relevantes para toda a bacia hidrográfica (PETERS; MEIBACK, 2000; DONADIO et al. 2005).

Assim como constatado por Pellizaro et al. (2008), comparando os resultados obtidos em 2006 e 2011 observa-se que a EF-ENG apresentou os melhores índices de qualidade da água (IQA = 63 e 73), provavelmente devido ao fato de a estação estar localizada na cabeceira da BHT, sofrendo menor influência de impactos antrópicos.

Por outro lado, a EF-POR, por estar localizada a jusante de diversos municípios e sofrer com o acúmulo das cargas de poluição difusa, apresentou os menores valores de IQA comparado com as demais estações (IQA = 62 e 68), ocasionado pelas altas concentrações de coliformes fecais e de nitrogênio total. No entanto, percebe-se uma expressiva redução das concentrações de coliformes fecais nos últimos anos (de 14000 NMP em 2006 para 100 NMP em 2016), fato que pode estar relacionado à melhoria no sistema de saneamento.

No entanto, apesar de as concentrações de nitrogênio total atenderem aos limites estabelecidos para águas doces de classe 2 pela Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), observa-se de forma generalizada que houve um incremento expressivo da concentração de nitrogênio para as três estações com decorrer do tempo, provavelmente decorrentes de atividades antrópicas, o que requer a adoção de medidas de prevenção e controle em relação a esse parâmetro. Vários autores relatam a deterioração da qualidade da água devido ao lançamento de efluentes em rios (TOLEDO; NICOLELLA, 2002; BOLLMANN; EDWIGES, 2008; DALMAS et al., 2015; CORNELLI et al., 2016).

5 CONCLUSÕES

O mapeamento do uso e cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do rio Tibagi utilizando imagens dos satélites LANDSAT 5 e 8 para os anos de 2006, 2011 e 2016 permitiu identificar a redução da área percentual de vegetação rasteira em detrimento do aumento das áreas correspon-

des às demais classes temáticas: área urbana, água, vegetação densa e solo exposto, ao longo dos anos.

A avaliação do Índice de Qualidade da Água (IQA) do rio Tibagi utilizando dados de série histórica indica que o rio vem sofrendo impactos, provavelmente provenientes de processos antropogênicos associados principalmente às atividades do setor agropecuário ao longo de seu percurso, devido, principalmente, às concentrações de nitrogênio total e de coliformes fecais.

Apesar de os dados do diagnóstico temporal da qualidade da água indicarem uma gradativa melhora em relação ao valor de IQA, mesmo com a intervenção ocorrida em 2012 com o represamento do rio para a instalação da Usina Hidrelétrica Mauá (UHE Mauá), mantendo sua classificação (boa), essa melhora está relacionada principalmente à redução de coliformes fecais, associada a possíveis melhorias no saneamento. No entanto, as concentrações de nutrientes indicam potencial de eutrofização, o que requer a adoção de medidas de prevenção e controle em relação a esses parâmetros.

6 AGRADECIMENTOS

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq e Companhia de Saneamento do Paraná - SANEPAR.

7 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Todos os autores contribuíram de forma igualitária.

8 REFERÊNCIAS

BOLLMANN, H. A; EDWIGES, T. Avaliação da qualidade das águas do Rio Belém, Curitiba-PR, com o emprego de indicadores quantitativos e perceptivos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 13, n. 4, p. 443-452, 2008.

- BARROS, K. O. et al. Análise temporal das classes de uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do Rio Vieira, Montes Claros, Minas Gerais. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 5, n. 2, caderno I, p. 43-54, ago. 2013.
- BRASIL. Lei nº 9.433, 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**, Brasília, 1997.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 357, 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2005.
- CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo 2015. **Apêndice D - Índices de Qualidade das Águas**. São Paulo: CETESB 2017.
- CECS - Consultório energetico cruzeiro do sul. **A Usina**. 2016. Disponível em: <<http://www.consorcio Cruzeiro dosul.com.br/a-usina>> Acesso em: 17 jul. 2016.
- CNEC. **Estudos de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental da UHE Mauá - EIA / RIMA**. 2004.
- CORNELLI, R.; SCHNEIDER, V. E.; BORTOLIN, T. A.; CEMIN, G.; SANTOS, G. M. Análise da Influência do Uso e Cobertura do Solo na Qualidade da Água de Duas Sub-Bacias Hidrográficas do Município de Caxias do Sul. **Scientia cum industria**. v. 4, n. 01, 2016.
- CRÓSTA, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Ed. Rev. - Campinas, SP: IG/UNICAMP, 1992.
- DALMAS, F. B.; VARGAS, R. R.; SAAD, A. R.; ANDRADE, R. M.; ANDRADE, J. A.; ARRUDA, R. O. M. Reflexo do uso e ocupação do solo na qualidade da água do rio Embu-Guaçu, região metropolitana de São Paulo. **Geociência**, v.34, n.01, 2015.
- DONADIO, N. M. M.; GALBIATTI, J. A.; PAULA, R. C. Qualidade da água de nascentes com diferentes usos do solo na bacia hidrográfica do Córrego Rico, São Paulo, Brasil. **Engenharia Agrícola**, v.25, n.1, p.115-125, 2005.
- ESTEVEZ, F. A. **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro: Inter-ciência, 1998.
- FERREIRA, J. H. D. (2009) **Relação entre a qualidade da água e a transformação o uso do solo da bacia hidrográfica do Tibagi**. Tese (Doutorado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá.
- FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélites para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.
- FUNASA. **Cianobactérias tóxicas na água para consumo humano na saúde pública e processos de remoção em água para consumo humano**. Brasília: Ministério da Saúde: Fundação Nacional de Saúde, 2003.
- GONÇALVES, C. S.; RHEINHEIMER, D. S.; PELLEGRINI, J. B. R.; KIRST, S. L. Qualidade da água numa microbacia hidrográfica de cabeceira situada em região produtora de fumo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.3, p.391-399, 2005.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. SIDRA - Sistema IBGE de Recuperação Automática. 2016. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 27 Ago. 2016.
- MEDRI et al., **A bacia do rio Tibagi**. Londrina, PR: M. E. Medri, 2002.
- NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgar Blucher, 1992.
- PELLIZZARO, P. C., HARDT, L. P. A., BOLLMANN, H. A., HARDT, C. Urbanização em áreas de mananciais hídricos: estudo de caso em Piraquara, Paraná. **Caderno Metrôpole**. n. 19, p 221 - 243, 2008.
- PETERS, N. E; MEYBECK, M. Water quality degradation effects on freshwater availability: impacts to human activities. **Water International**, v. 25, p. 214-221, 2000.
- SEMA - SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **Bacias Hidrográficas do Paraná**. 2ª ed., v. 1, Curitiba, 2013.
- SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4ª Edição. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Editora da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG – Belo Horizonte, 2014.
- TOLEDO, L. G.; NICOLELLA, G. Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano. **Scientia Agrícola**, v. 59, n. 01, p. 181-186, 2002.
- VANZELA, L. S.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.1, p.55-64, 2009.
- ZIMMERMANN, C. M.; GUIMARÃES, O. M.; PERALTA-ZAMORA, P. G. Avaliação da qualidade do corpo hídrico do rio Tibagi na região de Pinta Grossa utilizando análise de componentes principais (PCA). **Quim. Nova**, v. 31, n. 07, p. 1727-1732, 2008